



## مطالعات زمین‌شیمی سنگ‌های آتشفشانی سه‌ند (شمال غرب ایران)

فرهاد پیرمحمدی علی‌شاه\*<sup>۱</sup>، احمد جهانگیری<sup>۲</sup>

۱- استادیار پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شبستر، شبستر، ایران

۲- استاد پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

\* عهده‌دار مکاتبات: Petrofarhad@yahoo.com

دریافت مقاله: ۹۱/۹/۴، پذیرش مقاله: ۹۱/۱۲/۲۵

### چکیده

در جنوب تبریز که بخشی از زون ماگمایی البرز باختری-آذربایجان به‌شمار می‌رود، سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری سه‌ند گسترش قابل ملاحظه‌ای دارند. سنگ‌های آتشفشانی بیشتر از آندزیت، داسیت، ریوداسیت و ریولیت تشکیل شده‌اند و سنگ‌های آذرآواری عمدتاً به صورت پهنه‌های ایگنیمریتی مشاهده می‌شوند. این سنگ‌ها غنی از عناصر سنگ‌دوست درشت‌یون (LILE) و تهی از عناصر با قدرت میدان بالا (HFSE) هستند. بالا بودن نسبت‌های LILE/HFSE و LREE/HREE در نمونه‌ها و شباهت ترکیب شیمیایی آنها با گدازه‌هایی که در مناطق شاخص فرورانش تشکیل می‌شوند، احتمال شکل‌گیری سنگ‌های منطقه را در یک محیط فرورانشی تقویت می‌کند. اما به نظر می‌رسد فرایند فرورانش، تأثیر اندکی در تمرکز عناصر Y، Zr، Ta، Hf، Sm، Tb، Nd، Eu در سنگ‌های منطقه و در عوض تأثیر قابل ملاحظه‌ای در تغلیظ عناصر Th، U و تا اندازه‌ای La داشته است. مقادیر عناصر وابسته به پتاسیم (Pb، P، Zr، Sr، Ba، Rb) در سنگ‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که سنگ‌ها در سری کلسیم-قلیایی قرار می‌گیرند و مقایسه سنگ‌های مورد مطالعه با انواع سنگ‌های کلسیم-قلیایی موجود در دنیا نشان داد که سنگ‌های منطقه بیشتر شباهت را با سنگ‌های کلسیم-قلیایی Erzurum-Kars ترکیه دارند. با توجه به این مسئله، محیط زمین‌ساختی این سنگ‌ها احتمالاً متعلق به یک کمان پس از برخورد است که صعود ماگما و احتمالاً تولید آن، به‌وسیله گسل‌های امتدادلغز و زمین‌ساخت کشتی همراه با آن کنترل می‌شود. این ماگماتیسم پس از برخورد، ممکن است در اثر برخورد پوسته عربستان با ایران مرکزی رخ داده باشد.

واژه‌های کلیدی: سه‌ند، ارومیه-دختر، داسیت، فرورانش، محیط پس از برخوردی

### ۱- مقدمه

عناصر ناسازگار از پوسته فرورانده به گوشته زیرقاره‌ای در ناحیه کمان هستند (Hermann et al., 2006). عناصر LILE به دلیل دارا بودن پتانسیل یونی پایین، در فشار و دمای بالا به آسانی در سیال‌های آبدار حل شده و انتقال می‌یابند (Green & Pearson, 1986; Ryerson & Eggin, 1995; Watson, 1987; Tatsumi & Eggin, 1995). در صورتی که میزان انحلال‌پذیری عناصر HFSE در سیال‌های آبدار پایین است (Tatsumi et al., 1986). این امر باعث می‌شود که در حین ذوب‌بخشی یا از دست‌دادن آب پوسته اقیانوسی فرورونده، گوه گوشته بر اثر متاسوماتیسم سیال‌های آبدار از عناصر LILE نسبت به HFSE غنی شود (Green, 2006).

هدف از این مقاله، بررسی شرایط تشکیل سنگ‌های آتشفشانی سه‌ند و ویژگی‌های زمین‌شیمیایی سنگ‌ها و سیر تحولات ماگما در ارتباط با نواحی فرورانش و برخورد است. همچنین الگوها و مدل‌های ارائه‌شده برای خاور آناتولی در پلیوکواترن که سرگذشت مشابهی با شمال باختر ایران دارد، با مدل ارائه‌شده برای منطقه سه‌ند مقایسه خواهد شد و با استفاده از عناصر ناسازگار، محیط زمین‌ساختی تشکیل سنگ‌های آتشفشانی منطقه بررسی می‌شود. به همین دلیل از اطلاعات صحرائی، مطالعات سنگ‌نگاری و به‌ویژه داده‌های زمین‌شیمیایی این سنگ‌ها در رسیدن به هدف بهره گرفته شده است.

ایران در کمربند چین‌خورده آلپ-همیالیا و در یک ناحیه فشارشی ناشی از همگرایی دو صفحه عربی و اوراسیا قرار دارد. همگرایی این دو صفحه، سبب دگرشکلی ناحیه‌ای پوسته قاره‌ای به مساحت ۳۰۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع شده است و این ناحیه را به یکی از بزرگ‌ترین نواحی دگرشکل‌یافته ناشی از همگرایی در زمین تبدیل کرده است (Allen, 2004). منطقه آذربایجان به‌عنوان بخشی از نوار ماگمایی البرز باختری-آذربایجان، در شمال باختر ایران و در زون برخوردی بین صفحه عربستان-اوراسیا قرار دارد. پس از برخورد دو صفحه عربستان و اوراسیا و رخداد سترشدگی پوسته‌ای و بالاآمدگی، دور جدیدی از فعالیت آتشفشانی در این منطقه رخ داده است که احتمالاً سنی در حدود ۱۲ میلیون سال تا کواترنری (۲/۸ میلیون سال) دارد (Keskin et al., 1998). گدازه‌های مناطق فرورانش با تهی‌شدگی عناصر HFSE نسبت به عناصر LILE قابل تشخیص است. منشأ این تهی‌شدگی می‌تواند به دلیل تأثیر سیال‌ها یا مواد مذاب حاصل از صفحه فرورانده بر روی گوه گوشته‌ای باشد (Green, 2006). سیال‌های آبدار حاصل از صفحه فرورونده، مسئول انتقال برخی

## ۲- زمین‌شناسی منطقه

سنگ‌های آتشفشانی، در محدوده آندزیت، داسیت، ریوداسیت و ریولیت قرار می‌گیرند و در نمونه دستی به رنگ‌های صورتی تا خاکستری روشن و یا تیره دیده می‌شوند و همگی ساختار پورفیری دارند. بیشتر گدازه‌ها در مقاطع میکروسکوپی بافت میکروولیتی پورفیری نشان می‌دهند و از درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، کانی‌های کدر، بیوتیت و گاهی هورنبلند قهوه‌ای یا سبز با حاشیه سوخته با زمینه‌ای از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، کانی‌های کدر و سوزن‌های آپاتیت تشکیل شده‌اند. افزون بر بافت میکروولیتی پورفیری، برخی سنگ‌های منطقه، بافت بادامکی دارند و حفره‌های آنها توسط کانی‌های ثانوی کوارتز، کلسیت و زئولیت پر شده است. این حفره‌ها ۲ الی ۶ درصد از حجم سنگ را تشکیل می‌دهند (پیرمحمدی علیشاه، ۱۳۹۰). درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز در بیشتر نمونه‌ها بافت غربالی نشان می‌دهند. در برخی پلاژیوکلازها زون‌بندی و در برخی دیگر، حاشیه واکنشی و گردشده مشاهده می‌شود، که این نکته می‌تواند نشانه عدم تعادل بلورها با ماگمای در برگیرنده آنها باشد (Shelley, 1993; Singer et al., 1993). افزون بر بافت غربالی، بافت‌های گلمروپورفیری و پویکلیتیک نیز در این سنگ‌ها مشاهده می‌شود. بلورهای درشت پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن، معمولاً حاوی میانبارهای ریز کانی‌های مات (اپاک)، پیروکسن، پلاژیوکلاز و سوزن‌های آپاتیت به صورت بافت پویکلیتیک هستند. درصد پلاژیوکلاز در سنگ‌های منطقه، چه به صورت درشت‌بلور و چه در زمینه سنگ از سایر کانی‌ها بیشتر است. (Righter et al., 2001) براین فراوانی قابل توجه درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز در نمونه‌های منطقه در کنار عدم حضور درشت بلور آمفیبول، ممکن است نشانه تبلور سنگ‌ها از یک ماگمای کم‌آب باشد.

## ۴- زمین‌شیمی

پس از مطالعات میکروسکوپی از میان سالم‌ترین گدازه‌های منطقه، ۳۰ نمونه انتخاب و برای تجزیه شیمیایی به روش ICP-MS به آزمایشگاه ALS-Chemex کانادا ارسال شد. در این نمونه‌ها، غلظت ۵۴ عنصر اصلی و کمیاب برای ارزیابی ویژگی‌های زمین‌شیمیایی، گدازه‌های منطقه اندازه‌گیری شد.

سنگ‌های آتشفشانی منطقه در رده‌بندی (Le Bas et al., 1986) در محدوده‌های آندزیت، داسیت و ریولیت قرار می‌گیرند (شکل ۲). این نمونه‌ها با داشتن  $K_2O$  بین ۱/۷۸ تا ۲/۶ درصد وزنی و  $Na_2O$  بین ۳/۱۱ تا ۴/۸۳ درصد وزنی، بیشتر در قلمرو سنگ‌های کلسیم-قلیایی (Peccerillo & Talor, 1976) (شکل ۳) با پتانسیم متوسط و در محدوده سنگ‌های آندزیتی، داسیتی و ریولیتی (Le Maitre et al., 1989) (شکل ۴) قرار می‌گیرند. همچنین از نظر مقدار آلومین (Maniar & Piccolli, 1989) (شکل ۵) بیشتر نمونه‌ها در محدوده متالومینوس و تعدادی در محدوده پراآلومینوس قرار می‌گیرند که این امر می‌تواند نشانگر آرایش با مواد پوسته‌ای باشد.

سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه، در منطقه سه‌سند در ۴۵ کیلومتری جنوب تبریز رخنمون دارند. شکل ۱ نقشه تصویر ماهواره‌ای این منطقه را نشان می‌دهد. محدوده مورد مطالعه از نظر تقسیم‌بندی زمین‌ساختی بخشی از زون ایران مرکزی (Stocklin, 1968) است. قدیمی‌ترین سنگ‌های این محدوده، مربوط به کرتاسه پسین در بخش شمال باختری منطقه است. آتشفشان سه‌سند در بخش مرکزی و باختر منطقه قرار دارد و بلندترین قله آن ۳۶۹۵ متر به صورت مخروط ناقص بوده و در مجموع خود از دهانه‌های متعددی ساخته شده است. این آتشفشان یک آتشفشان چین‌های است که بر روی یک سری سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری به‌رنگ سیاه و ترکیب آندزیت بازالت به سن میوسن قرار گرفته و به عبارتی از درون این سنگ‌ها فوران کرده است (معین وزیری و امین سبحانی، ۱۳۵۶).



شکل ۱- تصویر ماهواره‌ای و راه‌های ارتباطی منطقه مورد مطالعه بر روی آن

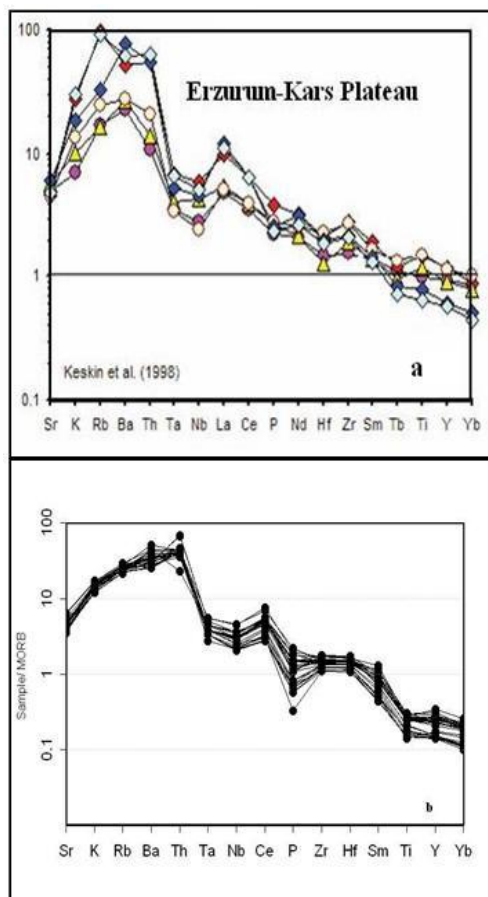
گستره پوشانده‌شده با فراورده‌های این آتشفشان در منطقه ۱۸۰۰ کیلومترمربع است که از پایین به بالا دارای توالی سنگ‌شناختی زیر است (غیوری و معین وزیری، ۱۳۸۱): ۱) کنگلومرای آتشفشانی (آگلومرا) (۲) افق‌های پونس‌دار و گدازه‌های آندزیتی (۳) تناوبی از لایه‌ها: شامل آگلومرا، روانه‌های برش و لاهار (۴) گدازه‌های داسیتی و ریولیتی. براساس مطالعات انجام‌شده بر روی سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری سه‌سند و با توجه به نتایج داده‌های ژئوکرونولوژی و روابط چینه‌شناسی حاکم بر سنگ‌های مورد مطالعه (معین وزیری و امین سبحانی، ۱۳۵۶؛ غیوری و معین وزیری، ۱۳۸۱) مراکز آتشفشانی سه‌سند از میوسن پسین تا اواخر پلیستوسن به‌طور متناوب فعالیت داشته‌اند.

## ۳- سنگ‌نگاری گدازه‌ها

از بین روانه‌های گدازه موجود در مناطق مختلف سه‌سند، در مجموع ۹۰ مقطع نازک میکروسکوپی مطالعه شد. گدازه‌های مورد نظر در رده‌بندی



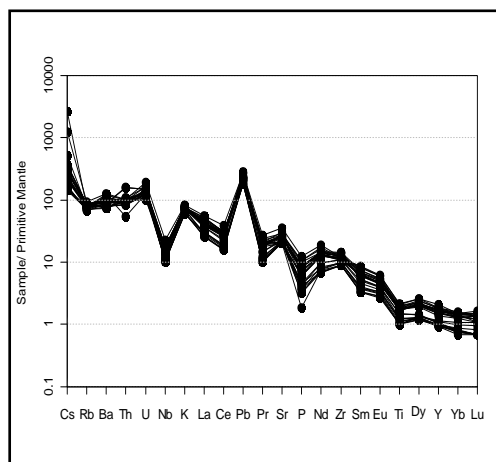
جذبی، پلاژیوکلازهای زون‌بندی شده، بافت تراکیتی و گلوپورفیری از ویژگی‌های کانی‌شناختی سنگ‌های منطقه به‌شمار می‌آیند. غنی‌شدگی در عناصر LILE و LREE نسبت به HFSE و بی‌هنجاری منفی Ta, Nb و پایین‌بودن Y از ویژگی‌های زمین‌شیمیایی سنگ‌های این منطقه است.



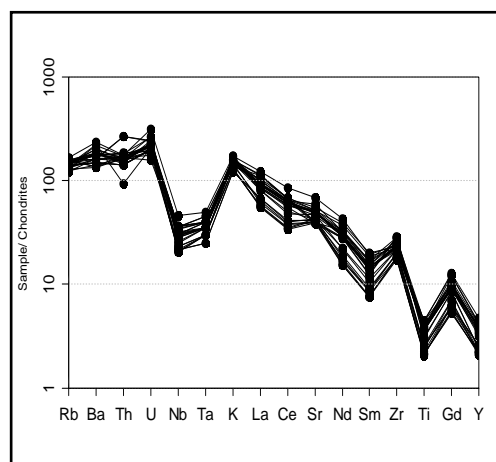
شکل ۸- مقایسه نمودار عنکبوتی و تغییرات عناصر کمیاب خاکی سنگ‌های آتشفشانی کلسیم-قلیایی سهند (b) با فلات ارزروم-کارس (a) در خاور ترکیه که هر دو به MORB پهنجار شده‌اند (Sun & McDonough, 1989)

### ۵- بررسی ویژگی‌های کمان ماگمایی

سنگ‌های منطقه از نظر نسبت Ba/La ویژگی‌های سنگ‌های آذرین مناطق کمان آتشفشانی را نشان می‌دهند. این نسبت برای NMORB بین ۴ الی ۱۰، برای EMORB و بیشتر بازالت‌های درون صفحه‌ای ۱۰ تا ۱۵ و برای سنگ‌های آتشفشانی مرز صفحه‌های همگرا بیش از ۱۵ است (Wood, 1980). مقدار نسبت یادشده در کمان‌های آتشفشانی بیشتر از مناطق کششی و مناطق پشت کمان است (Macdonald et al., 2001). در گدازه‌های سهند، مانند ماگمای مناطق کمان، مقدار این نسبت از ۱۶/۸۶ تا ۲۶/۵۵ در تغییر است. بالا بودن نسبت Ba/La، نشانه غنی‌شدگی گوه گوشته توسط سیال‌های منطقه پیش از برخورد و در زمان فرورانش و ورود Ba از رسوبات اقیانوسی فرورانده‌شده به ماگما است (Hole, 1984). نسبت Ba/Ta بالاتر از ۴۵۰، از مهم‌ترین ویژگی‌های



شکل ۶- الگوی پراکندگی عناصر در نمودار عنکبوتی که نسبت به گوشته اولیه پهنجار شده‌اند (Sun & McDonough, 1989)



شکل ۷- غنی‌شدگی نمونه‌ها از LREE در مقایسه با HREE در نمودار پراکندگی عناصر خاکی کمیاب که نسبت به کندریت پهنجار شده‌اند (Sun, 1980)

در این شکل، الگوی پراکندگی عناصر خاکی کمیاب در گدازه‌های مختلف، کم و بیش با هم موازی است و سنگ‌های منطقه از عناصر خاکی کمیاب سبک (LREE)، غنی‌شدگی نشان می‌دهند. دو احتمال می‌توان برای غنی‌شدگی نمونه‌ها از LREE در نظر گرفت: یکی این که چون LREEها تا حدی ناسازگارتر از HREEها هستند (Krauskopf & Bird, 1976) که ممکن است در اثر تحولات ماگمایی در سنگ‌های تحول‌یافته منطقه، متمرکز شده باشند. عامل دیگری که باعث غنی‌شدگی سنگ‌های یک ناحیه از LREEها می‌شود، این است که این سنگ‌ها در مناطق فرورانش تشکیل شده باشند (Winter, 2001).

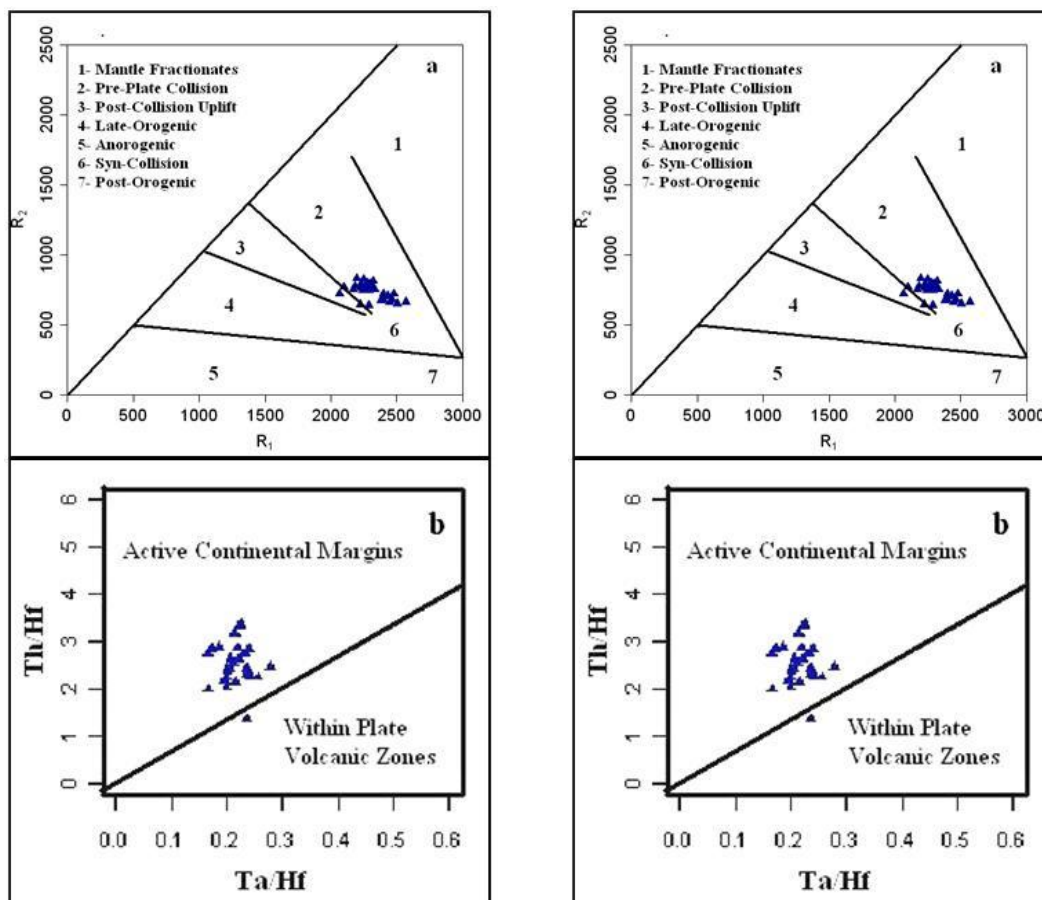
در شکل ۸ نمودار عنکبوتی پهنجار شده به MORB و عناصر کمیاب منطقه فلات ارزروم-کارس (۸a) در خاور ترکیه با نمودار مشابه آن در منطقه سهند (۸b) مقایسه شده است. آتشفشان‌های فلات ارزروم-کارس در خاور ترکیه به‌عنوان آتشفشان‌های تیپ مناطق پس از برخوردی معرفی شده‌اند (Keskin et al., 1998). گدازه‌های اسیدی و حدواسط، ویژگی‌های کانی‌شناختی مشابهی با سهند دارند. وجود آمفیبول‌ها با حاشیه

قاره ذوب و ماگمای حاصل از آن در طول گسل‌های کششی به سمت پوسته صعود می‌کند. توقف ماگمای حاصل در این پوسته سستبر، موجب تحولات مختلفی از جمله تبلور بخشی، هضم و آلودگی می‌شود و سپس در طول گسل‌های طویل به بیرون هدایت می‌شود. کمی پس از آن ماگماهای اسیدی نیز به‌صورت گنبد‌های ریولیتی و داسیتی در منطقه نفوذ می‌کنند. براساس مدل‌های ارائه‌شده، این احتمال وجود دارد که پس از برخورد صفحه‌های عربستان و اوراسیا، دور جدیدی از آتشفشانی پس از برخورد در شمال غرب ایران و شرق ترکیه در میو- پلیوسن شروع شده باشد. به نظر می‌رسد ماگمای تشکیل‌دهنده سنگ‌های مورد مطالعه متعلق به یک محیط کششی پس از برخورد باشد. با استفاده از نمودارهای ارائه‌شده Bachelor (Schandl & Gorton, 2002) و (Bowden, 1985) بیشتر نمونه‌ها در موقعیت کمان‌های پس از برخورد و همزمان با برخورد و حاشیه فعال قاره و در نمودارهای ارائه‌شده توسط (Pearce et al., 1984)، (شکل ۱۰) در محدوده کمان‌های آتشفشانی قرار می‌گیرند.

زمین‌شیمیایی ماگماهای کمان به شمار می‌رود (Macdonald et al., 2001). این نسبت در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۶۷۴ تا ۱۲۸۱ است. بالابودن نسبت  $La/Ta$  نیز از دیگر مشخصات مناطق کمان است (Trumbull et al., 1999) که در مورد سنگ‌های منطقه صدق می‌کند. میزان  $TiO_2$  یکی از معیارهای شناسایی محیط زمین‌ساختی، گدازه‌ها هستند. در بازالت و آندزیت‌های مناطق کمان مقدار  $TiO_2$  به‌دردت از ۱/۳ درصد وزنی فراتر می‌رود، این در حالی است که  $TiO_2$  در سنگ‌های سایر محیط‌های زمین‌ساختی بیشتر از ۱۰ درصد وزنی است (Rendeng et al., 2006). یکی از مهم‌ترین تفاوت‌های سری‌های کلسیمی- قلیایی جزایر کمانی با حاشیه فعال قاره فراوانی زیاد سنگ‌های سیلیسی (داسیت و ریولیت) به‌صورت مواد آذرآواری در حاشیه قاره است (Rendeng et al., 2006).

### ۶- مدل احتمالی تشکیل سنگ‌های منطقه

با توجه به داده‌های زمین‌شیمیایی و زمین‌فیزیکی و مقایسه آنها با مناطق مختلف دنیا به نظر می‌رسد که سنگ‌های منطقه به صورت زیر تشکیل شده‌اند. پس از برخورد صفحه‌های قاره‌ای در ایران، سنگ‌کره زیر



شکل ۹- (a) نمودار  $R_1-R_2$ ، نمونه‌های منطقه در محدوده همزمان و پس از برخورد قرار می‌گیرند، (Bachelor & Bowden, 1985). (b) نمودار  $Th/Hf$  در برابر  $Ta/Hf$  برای سنگ‌های سهند که اکثریت نمونه‌ها در محدوده حاشیه فعال قاره ای قرار می‌گیرند، (Schandl & Gorton, 2002)

شکل ۸- مقایسه نمودار عنکبوتی و تغییرات عناصر کمیاب خاکی سنگ‌های آتشفشانی کلسیم- قلیایی سهند (b) با فلات ارزروم-کارس (a) در خاور ترکیه که هر دو به MORB بهنجار شده‌اند (Sun & McDonough, 1989)



پس از برخوردی هستند. سنگ‌های منطقه سه‌ند از نظر زمانی و جایگاه محیط زمین‌ساختی، مشابه سنگ‌های فلات ارزروم- کارس در ترکیه است.

### مراجع

پیرمحمدی علیشاه، ف.، ۱۳۹۰، "پترولوژی، ژئوشیمی و پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی شرق و جنوب شرق آتشفشان سه‌ند با نگرشی ویژه بر سنگ‌های آذرآواری" پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تبریز، ۱۹۸ صفحه.

غیوری، ن.، معین وزیری، ا.، ۱۳۸۱، "مطالعه چینه‌شناسی، پتروگرافی و ژئوشیمیایی افق‌های ایگنیمبریتی سه‌ند" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۱۶۷ صفحه.

معین‌وزیری، ح.، امین‌سیحانی، ا.، ۱۳۵۶، "سه‌ند از نظر ولکانولوژی و ولکانوسیدیمانتولوژی" چاپ دانشگاه تربیت معلم تهران.

Aldanmaz, E., Pearce, J.A., Thirlwall, M.F. & Mitchell, J.G., 2000, "Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102: P.67-95.

Alleger, C. & Minster, J. F., 1978, "Quantitative model of trace element behaviour in magmatic processes", *Earth Planet. Sci. Lett.*, 38: P.1-25.

Allen, M., Jackson, J. & Walker, R., 2004, "Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation rates", 23, *TC2008*, doi: 1029/2003TC001530.

Bonjour, J.L., Dabard, M.P., 1991, "Ti/Nb ratio of classic terrigenous sediments used as indicator of provenance", *J. Chem. Geol.*, 91, P.257-267.

Fan, W.M., Gue, F., Wang, Y.J. & Lin, G., 2003, "Late Mesozoic calc-alkaline volcanism of post-orogenic extension in the northern Da Hinggan Mountains, northeastern China. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*" 121: P. 115-135.

Gorton, M.P. & Schandl, E.S., 2000, "From continents to island arcs: a geochemical index of tectonic setting for arc-related and within-plate felsic to intermediate volcanic rocks", *The Canadian Mineralogist*, 38: P.1065-1073.

Green, N.L., 2006, "Influence of slab thermal structure on basalt source regions and melting conditions: REE and HFSE constraints from Garibaldi volcanic belt, northern Cascadia subduction system", *Lithos*, 87: P.23-49.

Green, T.H. & Pearson, N.J., 1986, "Ti-rich accessory phase saturation in hydrous mafic-felsic compositions at high P, T", *Chemical Geology*, 54: P.185-201.

Hermann, J., Spandler, C., Hack, A. & V. Korsakov, A., 2006, "Aqueous fluids and hydrous melts in high-pressure and ultra-high pressure rocks: Implications for element transfer in subduction zones", *Lithos*.

Hole, M.J., Saunders, A.D., Marriner, G.F. & Tarney, J., 1984, "Subduction of pelagic sediments: Implication for the

با توجه به اینکه در منطقه سه‌ند، گسل‌ها و شکستگی‌های فراوان، از روندهای ساختاری کمربند آتشفشانی ارومیه دختر پیروی می‌کند. بنابراین، می‌توان این جریان‌های گدازه‌ای را در ارتباط با گسل‌هایی دانست که بر اثر برخورد پوسته قاره‌ای ایران و عربستان در پوسته ایران زمین به وجود آمده‌اند. مشابه این مدل، در ترکیه ارزروم- کارس، کمپلکس ماگمایی Mount Kozak، آتشفشان چینه‌ای Hassan Daghi و کمپلکس ماگمایی Bayramic مشاهده شده است و سنگ‌های این مناطق از نظر زمانی نیز مشابه سنگ‌های منطقه سه‌ند هستند. سن مطلق این مجموعه‌های سنگی با استفاده از روش سن‌سنجی K/Ar در نمونه‌های سنگی معادل و مشابه که در شمال خاور ترکیه قرار دارد، محاسبه شده است و برای فلات ارزروم- کارس در حدود ۱۲-۵ میلیون سال به دست آمده است. (Keskin et al., 1998). همچنین برای مجموعه آتشفشانی داسیتی و ریولیتی ارمنستان که با روش K/Ar و Rb/Sr انجام شده، سنی در حدود ۱۷-۱۰ میلیون سال به دست آمده است که به نظر می‌رسد سن میوسن پسین تا پلیوسن را داشته باشد (Karapetian et al., 2001). هر چند که بعضی از ویژگی‌های زمین‌شیمیایی آنها شبیه ماگماهای جزایر کمانی است،

### نتیجه‌گیری

با توجه به شواهد به دست آمده، ماگمای منطقه یک ماگمای تحول‌یافته و از نوع کلسیمی-قلیایی است. الگوی پراکندگی عناصر خاکی کمیاب بر روی نمودارهای عنکبوتی، حاکی از غنی‌شدگی گدازه‌ها از عناصر خاکی کمیاب سبک (LREE) نسبت به عناصر خاکی کمیاب سنگین (HREE) است. بالابودن نسبت‌های LILE/HFSE و LREE/HREE را می‌توان از مشخصات مناطق فرورانش به شمار آورد. از سوی دیگر، شواهد زمین‌شیمیایی بیانگر تأثیر اندک فرورانش در جابه‌جایی عناصر Hf, Sm, Ta, Zr, Nd, Tb, Y و در عوض تأثیر قابل ملاحظه آن بر روی جابه‌جایی عناصر U, Th و تا اندازه‌ای La بوده است. این مطلب با بی‌هنجاری مثبت U, Th و La در نمودارهای عنکبوتی انطباق دارد. غنی‌شدگی شدید Th و U در نمودارهای عنکبوتی، بیانگر مشارکت رسوبات پلاژیک یا اضافه‌شدن پوسته اقیانوسی دگرسان شده در منبع ذوب‌شدگی است. بالابودن نسبت Ba/La, Ba/Ta و La/Ta و پایین‌بودن مقدار TiO<sub>2</sub> در سنگ‌های منطقه از ویژگی‌های بارز سنگ‌های آذرین مناطق کمان به شمار می‌رود. پراکندگی نمونه‌ها بر روی نمودارهای Th/Yb در برابر Ta/Yb و همراهی آنها با حجم وسیع توف‌های اسیدی در منطقه، می‌تواند معرف شکل‌گیری آنها در حاشیه فعال قاره باشد. و اما با توجه به این که در منطقه سه‌ند تبریز، گسل‌ها و شکستگی‌های فراوان موجود در آن از روندهای ساختاری کمربند آتشفشانی ارومیه دختر پیروی می‌کند، بنابراین می‌توان این سنگ‌ها را در ارتباط با گسل‌هایی دانست که در اثر برخورد پوسته قاره‌ای ایران و عربستان در پوسته ایران زمین به وجود آمده‌اند. این گسل‌ها به عنوان گسل‌های پس از برخوردی شناخته می‌شوند که نسبتاً ژرف هستند و بعضی از آنها تا گوشته بالایی نیز ژرفا دارند. بر اساس نمودارهای زمین‌ساختی ارائه شده توسط Muller and Groves (1993) سنگ‌های مورد مطالعه، مشابه محیط‌های کمان قاره‌ای و کمان

- origin of Ceanomalous basalts from Alexander Islands", *Journal of Geological Society of London*, 141: P.453-472.
- Irvine, T. N. & Baragar, W. R. A., 1971**, "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", *Can. J. Earth. Sci.*, 8: P.523-548.
- Juteau, T. & Maury, R., 1997**, "Geologie de la Croute Oceanique: Petrologie et Dynamique Endogenes", P.569.
- Karapetian, S.G., Jrbashian, R.T., Mnatsakanian, A.K. H., 2001**, "Late collision rhyolitic volcanism in the northeastern part of the Armenia highland", *Journal of Volcanology and geothermal Research* 12, P.189-220.
- Keskin, M., Pearce, J.A., Mitchell, J.G., 1998**, "Volcano-stratigraphy and geochemistry of collision-related volcanism on the Eezurum-Kars Plateau, northeastern Turkey", *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 85, P.355-404.
- Krauskopf, K.B. & Bird, D. K., 1995**, "Introduction to geochemistry", *Mcgrawhill, Inc.* P.647.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. & Zannetin, B., 1986**, "Achemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram", *Journal. Petrol.*, 27:P.745-750.
- Le Maitre, R.W., Bateman, P., Dudek, A., Kellre, J., Lameyre Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorenson, H., Streckeisen, A., Woolley, A., & Zanettin, B., 1989**, "A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell Science", *Axford.* P.193.
- Macdonald, R., Hawkesworth, C.J. & Heath, E., 2001**, "The lesser Antilles volcanic chain: A study in arc magmatism" *Earth-Science Reviews.* 49:P.1-76.
- Machado, A., Lima, E.F., Chemale Jr., F., Morata, D., Ot-eiza, O., Almeida, D.P.M., Figueiredo, A.M.G., Alexandre, F.M & Urrutia, J.L., 2005**, "Geochemistry constrains of Mesozoic-Cenozoic-alkaline magmatism in South Shetland arc, Antarctica", *Journal of South American Earth Sciences.* 18: P.407-425.
- Mccurt, W.J., Atherton, M. P., Sanderson, L. M., Warden, V., 1985**, "The volcanic cover chemical composition and the origion of the magma of the calipuy", (*In magmatism at a plate edge*). P. 273-284.
- Middlemost, E.AK., 1985**, "Magmas and magmatic rocks" *Longman.* P.440.
- Muller, D., Groves, DI., 1993**, "Direct and indirect associations between potassic igneous rocks, Shshonites and gold-copper deposits", *Ore Geol. Rev.* 8: P.383-406.
- Norman, M.D., Leeman, W.P., 1990**, "Open system magmatic evolution of andesites and basalts from the salmon creek volcanics, south western Idaho. U.S.A", *Chem. Geol* 81, P.167-189.
- Pearce, J.A., 1982**, "Trace element characteristic of lava from destructive plate boundaries. In: R.S. Thorope (Editore), Andesites", *John Wiley and Sons, Chichester, P.* 525.548.
- Pearce, J.A., 1983**, "Role of the sub0continental lithosphere in magma genesis at active continental margins" *In: Hawkesworth C.J. & Norry M.J., (eds.), Continental basalts and mantle xenoliths. Shiva, nantwich, P.*230-249.
- Pearce, J.A & Cann, J.R., 1973**, "Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis", *Earth and Planetary Science Letters*, 19: 290-300.
- Pearce, J.A. & Peate, D.W., 1995**, "Tectonic implications of the composition off volcanic arc magmas" *Annual review Earth and Planetary Science Letters* 23: P.251-285.
- Rendeng, S., Jingsui, Y., Cailai, W., Iizuka, T. & Hirata, T., 2006**, "Island arc volcanic rocks in the north Qaidam UHP belt, Northern Tibet plateau: Evidence for ocean-continent subduction preceding continent Subduction", *Journal of Asian Earth Sciences.* 28: P.151-159.
- Richter, K. & Rosas-Elguera, J., 2001**, "Alkaline lavas in the volcanic front of Western Mexican Volcanic Belt: Geology and Petrology of Ayulta and Tapalpa Volcanic Fields", *Journal of Petrology*, 42: P.2333-2361.
- Rollinson, H., 1993**, "Using geochemical data: evaluation", *Presentation, interpretation. Singapore. Ongman, P.*352.
- Ryerson, F.J. & Watson, E.B., 1987**, "Rutile saturation in magmas: Implications for Ti-Nb-Ta depletion in island arc basalts", *Earth and Planetary Science Letters*, 86: P.225-239.
- Saunders, A.D., Tarnery, J. & Weaver, D., 1980**, "Transverse geochemical variations across the Antractic Peninsula: Implications for the genesis of calcalc-aline magmas", *Earth and Planetary Science Letters*, 46: P.334-360.
- Shelley, D., 1993**, "Igneous and metamorphic rocks under the microscop" *Chapman and Hall, P.*630.
- Singer, S.B., Pearce, H.T., Kolisnik, M.A. & Myers, D.J., 1993**, "Plagioclase Zoning in mid-Pleistocene lavas from the Seguan volvanic center, central Aleutian arc, Alaska", *American Mineralogist*, 78: P.143-157.
- Stalder, P., 1971**, "Magmatism tertiary et subrecent entre Talegan et Alamout, Elbourz central (Iran): Schweiz", *Min. Petr. Mitt.* 51: P.2-138.
- Stoklin, J., 1968**, "Structural history and tectonics of Iran: a review" *Amer. Assoc. Petroleum Geol. Bull.*52: P.1229-1258.
- Stevenson, R., Henry, P. & Garipey, C., 1999**, "Assimilation-fractional crystallization origin of Arcean Saukitoid Suties: Western Superior Province, Canada", *Precambrian Res.*, 96: P.83-99.
- Sun, S.S & Mc Donough, W.F., 1989**, "Chemical and isotopic ystematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes, In: Saunders, A.D. & Norry M.J. (eds) Magmatism in ocean basins", *Geological Society, London, Spec. Pub.* 42: P.313-345.
- Tatsomi, Y. & Eggins, S., 1995**, "Subduction Zone Magmatism", *Blackwell Science, Cambridge, MA. P.* 211.
- Tatsomi, Y., Hamilton, D.L. & Nesbitt, R.W., 1986**,

"Chemical characteristics of fluid phase released from a subducted lithosphere and origin of arc magmas: Evidence from high pressure experiment and natural rocks", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 29: P.239-309.

**Trumbull, R.B., Wittenbrink, R., Hahne, K., Emmermann, R., Busch, W., Gerstenberger, H. & Siebel, W., 1999**, "Evidence for Late Miocene to Recent contamination of arc andesites by crustal melts in the Chilean Andes (25-26°S) and its geodynamic implications", *Journal of South American Earth Science*. 12: P.135-155.

**Wilson, M., 1989**, "Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Approach. Unwin hyman", London. P.466.

**Winter, J.D., 2001**, "An introduction to Igneous and metamorphic Petrology", *Prentice Hall*. P.697.

**Wood, D. A., 1980**, "The application of a Th-Hf-Ta Diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province", *Earth Science*. 50: P.11-30.

**Zanetti, A., Mazzucchelli, M., Rivalenti, G. & Vannuci, R., 1999**, "The Finero phlogopite-peridotite massif: an example of subduction-related metasomatism", *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 134: P.107-122.